

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-110717

(43) 公開日 平成7年(1995)4月25日

(51) Int.Cl.⁶ 識別記号 庁内整理番号 F I 技術表示箇所
G 0 5 D 3/12 3 0 6 G 9179-3H
3 0 5 L 9179-3H
B 2 3 Q 15/24
G 0 5 B 19/404
9064-3H G 0 5 B 19/ 18 G
審査請求 未請求 請求項の数 6 F D (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平5-342810

(22) 出願日 平成5年(1993)12月16日

(31) 優先権主張番号 特願平5-225027

(32) 優先日 平5(1993)8月19日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 390008235

ファナック株式会社

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地

(72) 発明者 松原 俊介

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

(72) 発明者 岩下 平輔

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

(72) 発明者 置田 肇

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

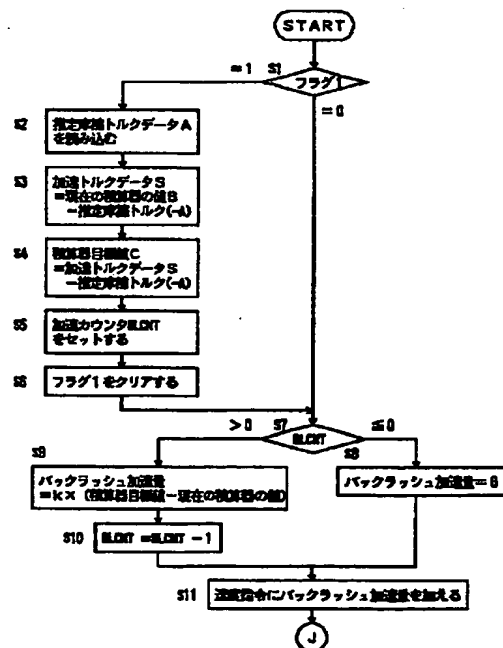
(74) 代理人 弁理士 竹本 松司 (外4名)

(54) 【発明の名称】 モータの制御方式

(57) 【要約】

【目的】 モータ反転直後の速度制御ループ積分器の目標値を正しく設定し、バックラッシュ加速補正を行なう。

【構成】 サーボモータを用いた工作機械の送り軸の方向反転時のモータ制御において、外乱トルクを推定する外乱トルク推定手段を設けて摩擦トルクを推定する(ステップS2)。速度ループ積分器の値を摩擦トルク分と加速トルク分に分離し(ステップS3)、加速トルク分と、摩擦トルク分の符号を反転させたものによりモータ反転時の積分器目標値を求める(ステップS4)。その積分器目標値に達する用に速度指令にあるオフセット量を与えたものをバックラッシュ加速量として(ステップS9)、バックラッシュ加速補正を行なう。摩擦トルクを推定する際に、(トルク定数/イナーシャ)の比を自動的に推定し、この比を使用して摩擦トルクを推定する。適正なバックラッシュ加速補正ができるから象限突起を少なくする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 サーボモータを用いた工作機械等の送り軸の方向反転時のモータ制御において、制御手段は、モータが外界から受ける外乱トルクを推定する外乱トルク推定手段を有し、該外乱トルク推定手段を用いて摩擦トルクを推定して、速度ループ積分器の値を摩擦トルク分と加速トルク分に分離し、該加速トルク分と、該摩擦トルク分の符号を反転させたものによりモータ反転時の積分器目標値を求め、該積分器目標値に達するように速度指令にあるオフセット量を与えたものをバックラッシュ加速量としてバックラッシュ加速補正を行なうことを特徴とするモータの制御方式。

【請求項2】 積分器目標値は、現在の積分器の値に、摩擦トルク分の符号を反転させ2倍したものを加算した値である請求項1記載のモータの制御方式。

【請求項3】 オフセット量は、積分器目標値から現在の積分器の値を減算した値に定数を乗算した値である請求項1記載のモータの制御方式。

【請求項4】 前記制御手段は、外乱トルク推定手段で摩擦トルクを推定するために用いるモータのトルク定数とイナーシャの比を適応的に求める手段を有し、該手段で求めたトルク定数とイナーシャの比により摩擦トルクを推定する請求項1、請求項2または請求項3記載のモータの制御方式。

【請求項5】 トルク定数とイナーシャの比を適応的に求める手段は、当該サンプリング周期の1周期前と2周期前のトルク指令の変化量と、1周期前と2周期前のモータの実速度、及び1周期前に求めたモータのトルク定数とイナーシャの推定比率よりモータの推定速度を求め、次に、モータの実速度と前記推定速度との差の推定速度誤差を求め、推定比率の変化量が、前記トルク指令の変化量が小さいときには小さく、トルク指令の変化量が所定値になるまでは該トルク指令の変化量に略比例した値とし、前記所定値以上になると飽和させて一定値となるように前記推定速度誤差に基づいて前記推定比率を求め順次更新し、該推定比率が収束する値をもってトルク定数とイナーシャの比率とする請求項4記載のモータの制御方式。

【請求項6】 前記トルク指令の変化量を u 、前記推定速度誤差を e 、前周期の推定比率を $b^*(i-1)$ 、設定パラメータ値を β とすると、当該周期におけるトルク定数とイナーシャの推定比率 $b^*(i)$ を次の式の演算によって求める請求項5記載のモータの制御方式。

$$b^*(i) = b^*(i-1) + \{\beta \cdot u \cdot e / (1 + \beta u^2)\}$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、工作機械等のテーブル等の送り軸を駆動するサーボモータの制御方式に関し、特に、送り軸の移動方向が反転するときのバックラッシ

ュ加速補正に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 工作機械等において、テーブル等を駆動するサーボモータの駆動方向を反転させるとき、通常、送りねじのバックラッシュや摩擦の影響のため、機械は即座に反転することができない。そのため、工作機械で円弧切削等を行なっているとき、象限が変わると切削円弧面に突起が生じる。例えば、X、Y2軸平面上でワークに対し円弧切削を行う場合、X軸についてはプラス方向に駆動し、Y軸についてはマイナス方向に移動させていくと、その移動中に象限が変化する。例えば、移動がX軸を横切るときには、Y軸についてはそのままマイナス方向に駆動し、Y軸についてはプラス方向からマイナス方向に駆動を切り換える。このとき、Y軸に対しては切り換え前と同一の速度により切削が行なわれるが、X軸については位置偏差が「0」となることからトルク指令値が小さくなり、摩擦によりサーボモータは即座に反転できなくなる。また、テーブルを送る送りねじのバックラッシュにより、テーブルの移動は移動指令に対して追従できなくなり、遅れが生じる。これらのトルク指令値の減少や、バックラッシュの発生といった原因によって、切削円弧面に突起が生じる。

【0003】 この切削面における突起の発生を防止したり、突起量を減少させるために、従来、移動方向の反転時に位置偏差に位置のバックラッシュ補正を行なうとともに、速度指令に適当な値（加速量）を加えてサーボモータの反転方向に加速を行い象限突起を減らす、いわゆるバックラッシュ加速補正によるモータ制御方式が行なわれている。

【0004】 この、バックラッシュ加速の一方式として、図11のバックラッシュ加速補正によるモータ制御方式のブロック図に示されるものがある（例えば、特開平3-228106号公報参照）。この従来のバックラッシュ加速補正によるモータ制御方式においては、方向反転直前の速度制御ループ積分器（図11中のK1/Sの項）の値を求め、その値の符号を反転したものを反転後の目標値とし、方向反転以後の設定時間内の各速度制御ループ処理においては、前記目標値から各速度制御ループ処理における積分器の値を減じた値に、適当な定数値を乗じたものを、各速度制御ループ処理におけるバックラッシュ加速量として、バックラッシュ加速補正を行なっている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前記の従来のモータの制御方式においては、円弧運動の速度が上昇した場合には、充分なバックラッシュ加速補正ができなくなるという問題点がある。

【0006】 従来のバックラッシュ加速補正によるモータの制御方式においては、低速での円弧運動を行なっている場合には、モータの反転時は速度が「0」付近とな

及び機械可動部のイナーシャである。また、Sはラプラス演算子である。

【0028】外乱トルク推定器5の項52、53のK3、K4は外乱トルク推定器（外乱推定オブザーバ）5のパラメータであり、項51のbは実際にサーボモータに出力されるトルク指令Tcに乘じるパラメータの値でモータのトルク定数KtをイナーシャJで除した値であ*

＊る。54は積分項で項51、52、53の出力を全て加算した値を積分し、モータの推定速度vaを求める項である。また、項55は項53からの出力Xに(1/b)を乗じた推定摩擦トルクAを求める項である。

【0029】この図5のブロック図をb=Kt/Jとして解析すると、

$$\begin{aligned} \{Tc \cdot Kt + Td\} (1/J \cdot S) &= v \quad \dots (1) \\ \{Tc \cdot (Kt/J) + (v - va) K3 + (v - va)(K4/S)\} (1/S) &= va \quad \dots (2) \end{aligned}$$

(なお、vaは積分項54の出力で推定速度) 1式より

$$Tc = (v \cdot J \cdot S - Td) / Kt \quad \dots (3)$$

2式に3式を代入し整理すると、

$$\begin{aligned} v \cdot S - (Td/J) + (v - va) K3 \\ + (v - va) (K4/S) &= va \cdot S \quad \dots (4) \end{aligned}$$

$$S(v - va) + (v - va) \cdot K3 + (v - va) (K4/S) = Td/J \quad \dots (5)$$

5式より

$$(v - va) = (Td/J) \cdot \{1/[S + K3 + (K4/S)]\} \quad \dots (6)$$

前記6式より項53の出力である積分値Xは次の7式で示される。 ※ 【0030】

$$\begin{aligned} X &= (v - va) \cdot (K4/S) \\ &= (Td/J) \cdot \{K4/(S^2 + K3 \cdot S + K4)\} \quad \dots (7) \end{aligned}$$

7式において、パラメータK3、K4を極が安定するように選択すると、X=Td/Jと近似することができる。この算出された積分値Xにパラメータbの逆数1/b (=J/Kt)を乗ずれば、A=X×(1/b)=Td/Ktとなり、外乱トルクTdを電流指令に対応する外乱の値にした外乱トルクの推定値Aを求めることができる。この外乱トルク推定器5の出力である推定摩擦トルクAは、図3のバックラッシュ加速量計算部7に入力され、バックラッシュ加速量が求められる。

【0031】以上のように、外乱トルク推定器5により推定外乱トルク（摩擦トルク）Aを求める際には、トルク指令にトルク定数KtとイナーシャJの比率bからなるパラメータbを乗じて（項51）、モータの推定加速速度を求める事項を含み、さらに、項55でトルク定数KtとイナーシャJの比率の逆数1/bを乗じて外乱トルク（摩擦トルク）の推定値Aを求めるものであるから、外乱トルクの推定値Aと実際の外乱トルクTdとの誤差を小さくするには、前記項51及び項55での係数は実際のトルク定数KtとイナーシャJの比率(Kt/J)★

★及びその逆数(J/Kt)に近い値であればある程正確な外乱トルクに対応する推定値を求めることができることを意味する。

30 【0032】しかし、サーボモータが取り付けられる機械によってイナーシャJが変化し、前記トルク定数KtとイナーシャJの比率のパラメータbを一律に決めることができない。そのため、機械毎にこのパラメータbを実験的に求めてもよいが、本実施例では、このパラメータの比率bを自動的に推定するようにしている。

【0033】図5において、トルク指令Tcにモータのトルク定数Ktが乗じられた値と、外乱トルクTdを加算した値を積分し、その積分値をイナーシャJで除した値がモータの速度vとなる。そこで、所定サンプリング周期Ts毎のi周期におけるトルク指令をTc(i)、モータの実速度をv(i)、外乱トルクをTd(i)とし、サンプリング周期Ts間に外乱トルクTd及びトルク指令Tcは変化がないとすると、モータの速度v(i)は次の8式で表すことができる。

$$v(i) = v(i-1) + (Ts/J) \cdot \{Kt \cdot Tc(i-1) + Td(i-1)\} \quad \dots (8)$$

また、1つ前のサンプリング周期においては次の9式が★ 成り立つ

$$v(i-1) = v(i-2) + (Ts/J) \cdot \{Kt \cdot Tc(i-2) + Td(i-2)\} \quad \dots (9)$$

るため、速度制御ループ比例項に依存する加速分トルクはほとんどなく、速度制御ループ内のトルク分は摩擦を打ち消して移動するために速度制御ループ積分器が持つ摩擦トルク分のみであるとし、この摩擦トルク分を反転させることによりバックラッシュ加速補正を行なうものであるが、円弧運動の速度が上昇すると、加速トルク分が増加して、速度制御ループ積分器内において加速トルク分の摩擦トルク分に対する比率が上昇する。

【0007】図12は、円弧運動の速度が遅い場合(図12の(a)~(d))と速い場合(図12の(e)~(h))のモータの動きを説明する図である。

【0008】理想的な積分器の反転後の目標値は、摩擦トルク分に加速度のコサイン波による成分を加えたものであるが、円弧運動の速度が遅い場合にはこの加速度のコサイン波による成分の値は小さいため、ほとんど摩擦トルク分として扱うことができる。そこで、円弧運動により生じる摩擦に打ち勝って運動を継続するために、図12の(c)に示すような摩擦トルクが必要であり、速度制御ループ積分器はこの摩擦トルクを形成するために図12の(d)の実線に示すように動作する。なお、図12の(d)において、破線は摩擦トルクレベルを示しており、反転後の積分器の従来の目標値(反転前のトルク値の符号を反転させた値)は、ほぼ実線で示す目標値と同じ値となっている。

【0009】ここで、図13に示すように、加速度成分がないものと仮定して、前記摩擦トルク分を速度制御ループ積分器の反転目標値となるように設定してバックラッシュ加速制御を行なうと、バックラッシュ加速制御を行なわない場合に比較して、実線で示すように反転の遅れを減少させることができる。

【0010】一方、円弧運動の速度が速い場合には、円弧運動により生じる摩擦に打ち勝って運動を継続するために、図12の(g)に示すような摩擦トルクが必要であるが、この摩擦トルクに対して加速度のコサイン波による成分も無視できない量となるため、図12の(h)の実線に示すような積分器の動が理想的なものとなる。従来の加速分トルクを考慮しない場合には、反転後の目標値は反転直前のトルク値の符号を反転させた値であり、理想的な積分器の目標値からは大きくずれることになる。図14はこの様子を示しており、摩擦トルク分のみを速度制御ループ積分器の反転目標値(従来のバックラッシュ加速の反転目標値で示す)となるように設定してバックラッシュ加速制御を行なうと、この反転目標値は加速トルク分を含んだ真の反転目標値と比較して設定値が低いため、図14の一点鎖線で示すように加速不足となり、バックラッシュ加速が正しく行なわれないことになる。

【0011】このため、速度制御ループ積分器の目標値に誤差が生じて、正確な目標値の設定ができなくなり、その結果充分なバックラッシュ加速補正が困難となる。

【0012】そこで、本発明は前記した従来のモータの制御方式の問題点を解決し、モータ反転直後の速度制御ループ積分器の目標値を正しく設定するモータの制御方式を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するために、本出願の発明のモータの制御方式は、サーボモータを用いた工作機械等の送り軸の方向反転時のモータ制御において、制御手段は、モータが外界から受ける外乱トルクを推定する外乱トルク推定手段を有し、その外乱トルク推定手段を用いて摩擦トルクを推定して、速度ループ積分器の値を摩擦トルク分と加速トルク分に分離し、加速トルク分と、摩擦トルク分の符号を反転させたものによりモータ反転時の積分器目標値を求め、その積分器目標値に達するように速度指令にあるオフセット量を与えたものをバックラッシュ加速量として、バックラッシュ加速補正を行なうものである。

【0014】そして、速度ループ積分器の値の摩擦トルク分と加速トルク分の分離は、速度ループ積分器の値から外乱トルク推定手段により求めた摩擦トルクを減算することによって行なうことができる。

【0015】また、積分器目標値は、現在の積分器の値に、摩擦トルク分の符号を反転させ2倍したものを加算した値とすることができ、速度指令に与えるオフセット量は、積算器目標値から現在の積算器の値を減算した値に定数を乗算した値とすることができ。

【0016】本発明のモータ制御における外乱トルク推定手段は、モータへ指令されるトルク指令とモータの実速度を入力として推定摩擦トルクを推定する機能を有するものであり、通常の外乱推定オブザーバにより構成することができる。

【0017】該外乱トルク推定手段で摩擦トルクを推定するためにモータのトルク定数とイナーシャの比を適応的に求める手段を設け、該手段でトルク定数とイナーシャの比を求める。この場合、トルク定数とイナーシャの比を適応的に求める手段は、当該サンプリング周期の1周期前と2周期前のトルク指令の変化量と、1周期前と2周期前のモータの実速度、及び1周期前に求めたモータのトルク定数とイナーシャの推定比率よりモータの推定速度を求め、次に、モータの実速度と前記推定速度との差の推定速度誤差を求め、推定比率の変化量が、前記トルク指令の変化量が小さいときには小さく、トルク指令の変化量が所定値になるまでは該トルク指令の変化量に略比例した値とし、前記所定値以上になると飽和させて一定値となるように前記推定速度誤差に基づいて前記推定比率を求め順次更新し、該推定比率が収束する値をもってトルク定数とイナーシャの比率とする。

【0018】特に、前記トルク指令の変化量を u 、前記推定速度誤差を e 、前周期の推定比率を $b^*(i-1)$ 、設定パラメータ値を β とすると、当該周期におけ

10

20

30

40

50

るトルク定数とイナーシャの推定比率 $b^* (i)$ を次の式の演算を行なって求める。

$$[0019] \quad b^* (i) = b^* (i-1) + \{\beta \cdot u \cdot e / (1 + \beta u^2)\}$$

[0020]

【作用】本出願の発明によれば、サーボモータを用いた工作機械の送り軸の方向反転時のモータ制御において、モータへ指令されるトルク指令とモータの実速度を、モータが外界から受ける外乱トルクを推定する外乱トルク推定手段に入力して摩擦トルクを推定し、速度ループ積分器の値を摩擦トルク分と加速トルク分に分離し、現在の積算器の値から推定摩擦トルクを減算した値により加速トルクを求め、現在の積分器の値に、摩擦トルク分の符号を反転させ2倍したものを加算した値により積算器目標値を求め、積算器目標値から現在の積算器の値を減算した値に定数を乗算した値により速度指令に与えるオフセット量を求め、そのオフセット量を速度指令に与えたものをバックラッシュ加速量として、バックラッシュ加速補正を行なう。外乱トルク推定手段は、モータのトルク定数とイナーシャの比を適応的に求めて、該比を使用して摩擦トルクを推定することによって、より適性なバックラッシュ加速補正を行なう。

[0021]

【実施例】以下、本発明の実施例を図を参照しながら詳細に説明するが、本発明は実施例に限定されるものではない。

[0022] 図3は速度制御ループ、電流制御ループを含む位置制御ループ系のブロック図で、ブロック1の K_p は位置制御ループのポジションゲイン、ブロック2、3は速度制御ループの積分項、比例項で、 K_1 は積分ゲイン、 K_2 は比例ゲイン、ブロック4はサーボモータ、ブロック5は外乱トルク推定器、ブロック6はサーボモータの速度を積分して位置を求める伝達関数、ブロック7はバックラッシュ加速量計算部である。

[0023] 前記位置制御ループ系において、ブロック5及びブロック7はバックラッシュ制御部を構成しており、このバックラッシュ制御部を除いた部分は通常の位置制御ループ系と同様である。そして、この位置制御ループ系は、数値制御装置から出力された位置指令からサーボモータに取り付けられたパルスコード等からの位置フィードバック値を減じて位置偏差を求め、該位置偏差にポジションゲイン K_p を乗じて速度指令を求め、該速度指令とパルスコード等で検出されるサーボモータの実速度の速度フィードバック値より、速度制御ループの積分比例制御を行なってトルク指令を求め、電流制御ループ処理を行なって、サーボモータを駆動する。

[0024] 一方、バックラッシュ制御を行なう部分は外乱トルク推定器5とバックラッシュ加速量計算部7により構成される。この外乱トルク推定器5はモータ反転直前の摩擦トルクを推定してバックラッシュ加速量計算

部7に入力し、該バックラッシュ加速量計算部7は、その推定した摩擦トルクを用いて、速度制御ループの積分項2からの積分器の値を摩擦分と加速分に分離し、反転後の積分器にセットする目標値を設定する。

[0025] 従来と本発明のバックラッシュ制御の相違は、以下の点にある。従来のバックラッシュ制御が、方向反転直前の速度制御ループ積分器の値を求め、その値の符号を反転したものを反転後の目標値とし、方向反転以後の設定時間内の各速度制御ループ処理において、前記目標値から各速度制御ループ処理における積分器の値を減じた値に、適当な定数値を乗じたものを、各速度制御ループ処理におけるバックラッシュ加速量として、バックラッシュ加速補正を行なっているのに対して、本発明のバックラッシュ制御においては、外乱トルク推定器5によって摩擦トルクを求め、方向反転直前の速度制御ループ積分器中のトルクから前記外乱トルク推定器5によって推定した摩擦トルクを除くことにより、加速分に必要なトルクを求め、モータの反転時には、加速トルク分は反転せず摩擦トルク分のみ反転して積分器目標値を設定し、その積分器目標値に向かって積分器がすみやかに移行するように速度指令をオフセットする。この積分器の制御の一方法として、本発明においては、各速度制御ループ処理毎に前記積分器目標値から各速度制御ループ処理における積分器の値を減じた値に、適当な定数値を乗じたものを、各速度制御ループ処理におけるバックラッシュ加速量としている。

[0026] 図4は本発明のモータの制御方式を実施するサーボモータ制御系の要部ブロック図であり、10は工作機械を制御する制御装置で、該制御装置から移動指令、力指令、各種制御信号が共有メモリ11を介してデジタルモータ制御回路12に出力される。デジタルサーボ制御回路12は、プロセッサ、ROM、RAM等で構成され、位置、速度、力等のモータ制御をデジタル的に実行し、トランジスタインバータで構成されるサーボアンプ13を介して各軸のサーボモータ14を制御するものである。また、15は位置、速度を検出する位置速度検出器でサーボモータのモータ軸に取り付けられたパルスコード等で構成され、デジタルサーボ制御回路12に位置、速度フィードバック信号を出力している。なお、これらの構成は、従来から公知のデジタルサーボ回路の構成と同一である。

[0027] また、図5は本発明のモータの制御方式を実施する外乱トルク推定器（外乱推定オブザーバ）の要部ブロック図であり、一点鎖線により囲まれる外乱トルク推定器5は、サーボモータが外界から受ける力としての摩擦トルク T_d を推定する外乱推定オブザーバである。モータへ指令されるトルク指令 T_c とモータの実速度 v から摩擦トルク T_d を推定し、推定摩擦トルク A を得るものである。なお、図5中において、4、4' はモータ部であり、 K_t はモータのトルク定数、 J はモータ

8式から9式を引くと、

$$v(i) - v(i-1) = v(i-1) - v(i-2) + (Ts/J) \cdot [Kt \{Tc(i-1) - Tc(i-2)\} + Td(i-1) - Td(i-2)] \quad \dots (10)$$

また、外乱トルクに変化がないとして、 $Td(i-1) = Td$ *つ。

(i-2)とすると、前記10式より、次の11式が成り立 *

$$v(i) = 2 \cdot v(i-1) - v(i-2) + (Ts \cdot Kt / J) \cdot u(i-1) \quad \dots (11)$$

ただし、 $u(i-1) = Tc(i-1) - Tc(i-2)$ である。そこ ※1式を次の12式のように書換える。

で $(Ts \cdot Kt / J) = b^* (i-1)$ とおき、前記1※ 【0035】

$$v^*(i) = 2 \cdot v(i-1) - v(i-2) + b^* (i-1) \cdot u(i-1) \quad \dots (12)$$

前記12式において $b^* (i-1) = (Ts \cdot Kt / J)$ は(トルク定数/イナーシャ)の比率を表しており、 $v^*(i)$ は、前記 $b^* (i-1)$ を用いて推定されたモータの推定速度を意味する。

【0036】サンプリング周期 i におけるモータの実速度 $v(i)$ と推定速度 $v^*(i)$ との差である推定誤差 $e(i) = v(i) - v^*(i)$ を用いてサンプリング周期 i における前記推定される(トルク定数/イナーシャ)の比率(以下推定比率という) $b^* (i)$ を推定する。この場合、トルク指令 Tc の変化 $u(i) (= Tc(i) - Tc$ ★20

$$b^* (i) = b^* (i-1) + \beta \cdot u(i) \cdot e(i) / (1 + \beta \cdot u(i)^2) \quad \dots (13)$$

前記13式において β は収束の速度を決めるパラメータである。前記13式の処理を各サンプリング周期毎に実施すれば、前記推定比率 $b^* (i)$ は収束し一定値となる。この収束した一定値の推定比率 b^* を外乱トルクを推定する外乱トルク推定器5における指令トルクからモータの推定加速度に変換するパラメータ b として利用すれば、正確な外乱トルクの推定値を得ることができる。

【0038】次に、本発明の実施例の動作を図1、図2に示すデジタルサーボ(ソフトウェアサーボ)回路12のプロセッサが速度制御ループ処理周期毎に実施する処理のフローチャート、および図6に示す積分器の動きを説明する図を用いて説明する。なお、各工程はステップSの符号に従って説明する。

【0039】ステップS1: はじめに、フラグ1の値を判定する。フラグ1はバックラッシュ加速の1回目の周期であることを示すフラグであり、バックラッシュ加速開始時に1速度制御ループ間だけセットされる。このフラグ1はバックラッシュ加速が行なわれるときは「1」にセットされ、バックラッシュ加速が行なわれないときは「0」にセットされる。したがって、このステップS1の判定において、フラグ1の値が「1」にセットされている場合には、以下のステップS2～ステップS6の工程で説明するバックラッシュ加速開始における処理に進み、フラグ1の値が「0」にセットされている場合には、バックラッシュ加速開始でない場合の処理(ステップS8)に進む。

【0040】なお、バックラッシュ加速開始か否かの判

★(i-1)が小さいときは、前記推定比率の変化($b^* (i) - b^* (i-1)$)をほとんど「0」に近い小さな値とし、トルク指令 Tc の変化 $u(i)$ が大きくなるにつれて推定比率の変化も大きくなるようにし、かつトルク指令 Tc の変化 $u(i)$ がある設定値以上の大きになると推定比率の変化も飽和させるようなアルゴリズムで推定比率 $b^* (i)$ を推定する。本実施例では、次の13式によって推定する。

【0037】

断は、例えば位置偏差の符号が反転したか否かを判断することによって行なうことができる。

【0041】ステップS2: 外乱トルク推定器で、即ち、後述するこの外乱トルク推定器の処理によって推定された推定外乱トルクを推定摩擦トルクAとして読み込む。

【0042】この推定摩擦トルクAは、図6において、負側の破線で示される部分であり、(-A)の値を有している。なお、ここで、Aは正の値を有しているものとする。

【0043】ステップS3: 次に、積分器中のトルクから加速トルクデータSを求める。円弧切削のスピードの上昇に伴って、積分器中のトルク成分である加速トルクと摩擦トルクの中で加速トルクの占める割合が大きくなる。この加速トルク分を加速トルクデータSで表すと、図12の(d)と図12の(h)の比較、及び図6のSで示されるように、速度が速い場合には無視できない量となる。つまり、従来のバックラッシュ加速の場合のように、積分器中のトルク成分を摩擦トルクのみと仮定して、その反転トルク値をバックラッシュ加速の反転目標値とすると、図6の一点鎖線に示すような積分器の動作となり、真の反転目標値と比較して目標値が低く設定されるため加速不足となる。そこで、この工程において速度ループ積分器中のトルク成分を加速トルク分と摩擦トルク分に分離し、現在の速度ループ積分器の値から前記ステップS2の工程で求めた摩擦トルク分を減算することによって加速トルク分を求める。

【0044】この場合、現在の速度ループ積分器の値を

Bで表すと、加速トルクデータSは、図6に示す関係から次式

$$\begin{aligned} \text{加速トルクデータ } S &= \text{現在の積分器の値 } B - \text{推定摩擦トルク } (-A) \\ &= -B + A \end{aligned} \quad \dots (14)$$

によって表される。なお、Bは正の値を有しているものとする。

【0045】ステップS4：速度ループ積分器の積分器目標値Cを加速トルクデータSと推定摩擦トルクAから求める。積分器中のトルク成分の内、モータ反転時にお※

$$\begin{aligned} \text{積分器目標値 } C &= \text{加速トルクデータ } S - \text{推定摩擦トルク } (-A) \\ &= S + A \\ &= -B + 2A \end{aligned} \quad \dots (15)$$

ステップS5、ステップS6：バックラッシュ加速補正時間に対応して加速カウンタの値を設定し、その値を加速カウンタBLCNTにセットするとともにフラグ1をクリアする。

【0047】ステップS7：加速カウンタBLCNTの値を判定し、正の場合にはステップS9に進んでバックラッシュ加速補正を行い、0又は負の場合にはステップS8に進む。

【0048】ステップS8：加速カウンタBLCNTの値が0又は負の場合には、バックラッシュ加速補正を行なわないため、バックラッシュ加速量を「0」としてレジスタ等に格納する。

【0049】ステップS9、ステップS10：加速カウンタBLCNTの値が正の場合には、バックラッシュ加速補正を行なうため、前記ステップS4で求めた積分器目標値Cから現在の積分器の値Bを減算したものに定数Kを乗じて、当該周期のバックラッシュ加速量を求め加速量をレジスタ等に格納し、加速カウンタBLCNTから「1」を減算する（1周期分を減算する）。

【0050】ステップS11：前記ステップS8あるいはステップS9においてレジスタに格納されたバックラッシュ加速量を位置ループ処理によって求められた速度指令に加算し、速度ループへの速度指令とする。

【0051】ステップS12、ステップS13：位置・速度検出器15で検出される実速度v(i)を取り込み、該実速度v(i)と前記ステップS11で求めた速度ループへの速度指令とにより、速度ループ処理（PI制御等）を実行しトルク指令Tc(i)を求め、該トルク指令Tc(i)を電流ループに引き渡し、サーボモータを駆動制御する。

【0052】ステップS14：レジスタに記憶する当該処理周期iより1周期前に求められたトルク指令Tc(i-1)から2周期前のトルク指令Tc(i-2)を減じてトルク指令Tcの変化値uを求める。

【0053】ステップS15：レジスタに記憶する1周期前に検出したサーボモータの実速度v(i-1)を2倍した値から2周期前に検出した実速度v(i-2)を減じた値に、さらに、レジスタに記憶する前周期において求めた推定比率b*(i-1)に前記ステップS1で

※いては、加速トルク分については反転させる必要がなく、摩擦トルク分のみ反転させればよいので、積分器目標値Cは図6の真の反転目標値であり、次式により求められる。

【0046】

求めたトルク指令の変化値uを乗じた値を加算して速度推定値v*を求める。すなわち、前記12式の演算を行うことによって速度推定値v*を求める。

【0054】ステップS16：ステップS12で取り込んだサーボモータの実速度v(i)からステップS15で求めた速度推定値v*を減じて推定速度誤差e(i)を算出する。

ステップS17：推定速度誤差e(i)とレジスタに記憶する前周期で求められた推定比率b*(i-1)及びステップS14で求めたトルク指令Tcの変化値uより前記13式の演算を行って推定比率b*(i)を求める。次に、この推定比率b*に基づいて外乱トルク推定器（外乱推定オブザーバ）5の処理を開始する。

【0055】ステップS18：ステップS12で読み取った実速度v(i)からレジスタに記憶する前周期で推定した推定速度va(i-1)を減じた値にオブザーバの積分ゲインとしてのパラメータK4及び速度ループ周期Tsを乗じた値を、アキュムレータに記憶する前周期までの積分値X(i-1)に加算し当該周期におけるオブザーバの積分値X(i)を求める。すなわち、図5における項53の処理を実行し積分値Xを求めるものである。

【0056】ステップS19：レジスタに記憶する前周期のトルク指令Tc(i-1)にステップS17で求めた推定比率b*を乗じた値、ステップS18で求めた積分値X(i)、さらに、ステップS12で読み込んだ当該周期の実速度v(i)からレジスタに記憶する前周期で求めた推定速度va(i-1)を減じた値に比例ゲインとしてのパラメータK3を乗じた値を加算し、この加算値に速度ループ周期Tsを乗じた値を前周期で求めた推定速度va(i-1)に加算して、当該周期の推定速度va(i)を求める。すなわち、図5における項54によって推定速度vaを求める処理を実行するものである。

【0057】ステップS20：ステップS18で求めた積分値X(i)をステップS17で求めた推定比率b*で除して外乱トルク、即ち摩擦トルクAを求めレジスタに記憶して、当該速度ループ周期の処理を終了する。

【0058】その後の速度ループ処理の周期においては、ステップS1のフラグ1は「0」であるためステップS2からステップS6の1回目の周期のバックラッシ

加速の工程をスキップして、ステップS7の加速カウンタBLCNTの判定処理に進み、ステップS5においてバックラッシュ加速補正時間に対応して設定した加速カウンタの値が「0」となるまでステップS9～ステップS11の工程によるバックラッシュ加速補正を行なう処理、ステップS12～ステップS13の速度ループ処理、ステップS14～ステップS17の推定比率 b^* を求める処理、ステップS18～ステップS20の工程の摩擦トルクAを求める処理を行なう。

【0059】バックラッシュ加速補正時間が経過したことは、ステップS7の加速カウンタBLCNTが「0」となることにより判断され、バックラッシュ加速量を「0」にセットしてバックラッシュ加速補正を行なわず（ステップS8）、位置制御ループ処理で求めた速度指令に従って、通常速度制御ループ処理を行なう。

【0060】（本発明の実施例の効果例）図7～図9は本発明の実施例の効果を示すもので、図7はバックラッシュ加速を行なわない場合、図8は従来のバックラッシュ加速を行なった場合、図9は本発明のモータの制御方式のバックラッシュ加速を行なった場合、ただし、図2におけるステップS14～ステップS17の処理を行なわず、推定比率 b^* を実験的に求めた値で行なったときの効果例である。

【0061】なお、各図において、円弧の半径は40mmであり、理想的な切削軌跡からのずれ量を1目盛りを20 μ mとして拡大表示し、速度が遅い場合の例として（a）に切削速度が1000mm/分の結果を、速度が速い場合の例として（b）に切削速度が6000mm/分の結果を示している。なお、この結果例では、Y軸軸上でX軸方向で象限が変わるとき突起が生じるもの

を示している。

【0062】図7に示すバックラッシュ加速を行なわない場合、低速においても象限の変化時に突起が生じ、高速においてはさらに大きな突起量が生じている。

【0063】図8に示す従来のバックラッシュ加速を行なった場合、低速においてはバックラッシュ加速補正により象限の変化時での突起量の減少が見られるが、高速においてはバックラッシュ加速補正が充分に行なわれず、象限の変化時に突起が生じている。

【0064】これに対して、図9に示す本発明のバックラッシュ加速を行なった場合、低速と同様に高速においてもバックラッシュ加速補正が行なわれ、象限の変化時での突起の発生を抑えることができる。

【0065】図10は、推定比率 b^* を推定し（ステップS14～ステップS17）、この推定した推定比率 b^* によって外乱トルク推定器の処理（ステップS18～ステップS20）の処理を行なったときの本願発明の効果を見るために行なった実験例の結果を示す図である。半径40mmの円弧を速度4000mm/分で加工した時のもので、切削軌跡からのずれ量を1目盛りを10 μ

mとして拡大表示している。（イ）はバックラッシュ加速補正を行なわない場合、（ロ）はバックラッシュ加速補正を行なうが、推定比率 b^* の推定を行なわずに、パラメータbをある値に設定したときの結果を示す。

（ハ）は推定比率 b^* を推定したとき、即ち、図1、図2に示す本発明の実施例を実施したときの結果を示す図である。

【0066】（イ）では、象限が変わるとき象限突起が生じており、（ロ）ではバックラッシュ加速補正が過剰に作用しており、象限が変わるとき突起の代わりに凹部が生じている。また、（ハ）の場合には突起、凹部の発生が抑えられ精度の高い加工が得られている。

【0067】なお、本発明は前記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づき種々の変形が可能であり、それらを本発明の範囲から排除するものではない。

【0068】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、モータ反転直後の速度制御ループ積分器の目標値を正しく設定することができ、バックラッシュ補正を最適に行なうことができる。そのため、円弧切削等において象限が変わった時、即ち、一方の送り軸のみがその移動方向が反転したとき等において、切削円弧面に発生する突起を最小限に抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例の速度制御ループ処理周期毎に実施する処理のフローチャートである。

【図2】図1のフローチャートの続きである。

【図3】本発明の位置制御ループ系のブロック図である。

【図4】本発明のモータの制御方式を実施するサーボモータ制御系の要部ブロック図である。

【図5】本発明のモータの制御方式を実施する外乱トルク推定器の要部ブロック図である。

【図6】本発明の積分器の動きを説明する図である。

【図7】本発明の実施例の効果を示す図である。

【図8】本発明の実施例の効果を示す図である。

【図9】本発明の実施例の効果を示す図である。

【図10】本発明の実施例の効果を示す図である。

【図11】従来のバックラッシュ加速補正によるモータ制御方式のブロック図である。

【図12】円弧運動のモータの動きを説明する図である。

【図13】速度が遅い場合の積分器の動きを説明する図である。

【図14】速度が速い場合の積分器の動きを説明する図である。

【符号の説明】

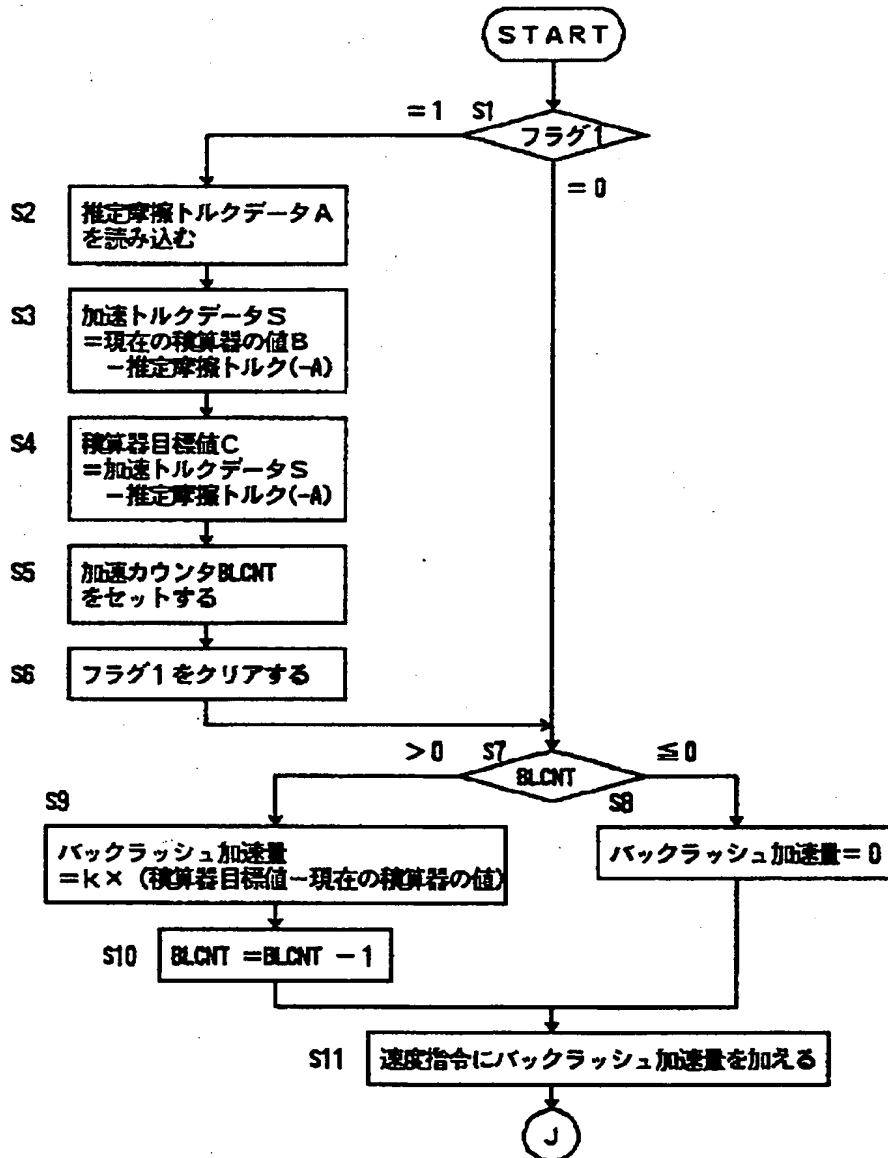
- 1 ポジションゲイン
- 2 速度制御ループの積分項

- 15
- 3 速度制御ループの比例項
4 サーボモータ
5 外乱トルク推定器
6 伝達関数
7 バックラッシュ加速量計算部
10 制御装置

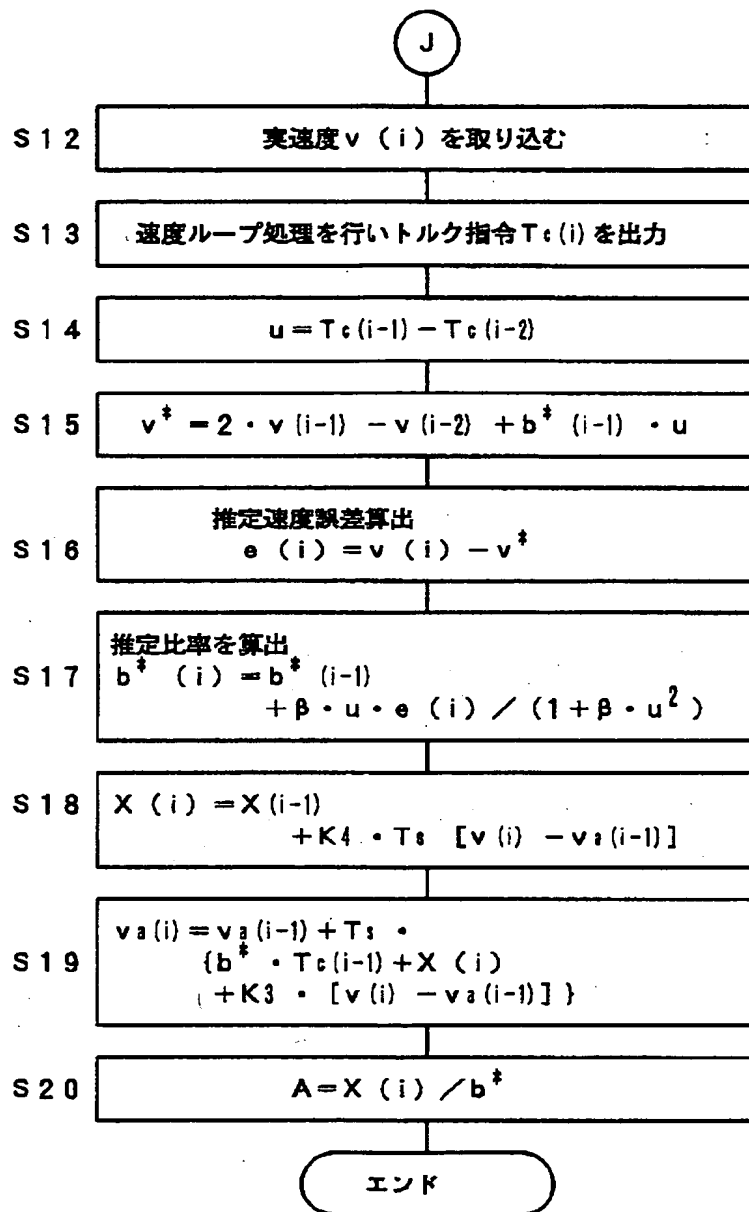
- 16
- * 11 共有メモリ
12 デジタルモータ制御回路
13 サーボアンプ
14 サーボモータ
15 位置速度検出器

*

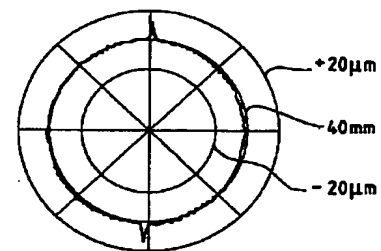
【図1】



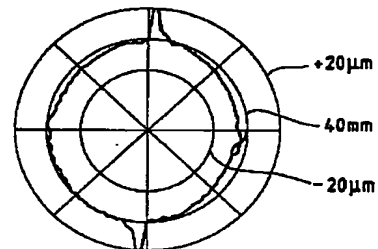
【図2】



【図7】

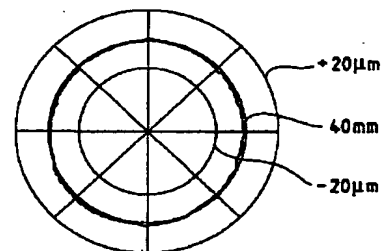


(切削速度 1000mm/分 の場合)

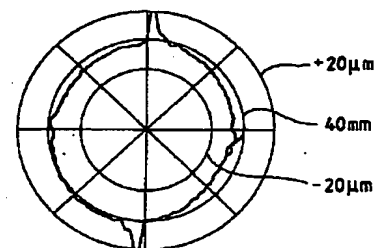


(切削速度 6000mm/分 の場合)

【図8】

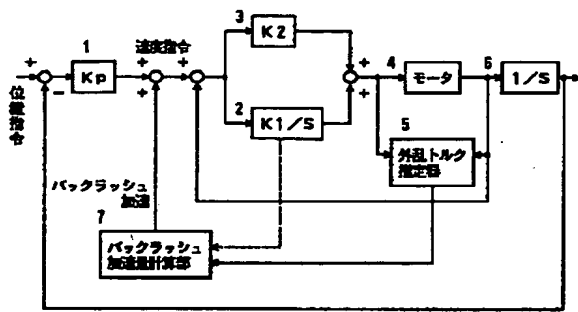


(切削速度 1000 mm/分 の場合)



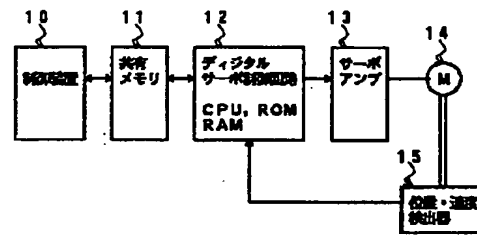
(切削速度 6000 mm/分 の場合)

【図3】

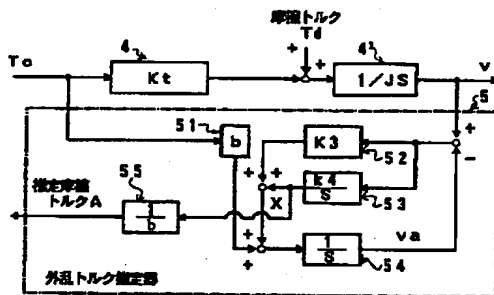


Kp: ポジションゲイン

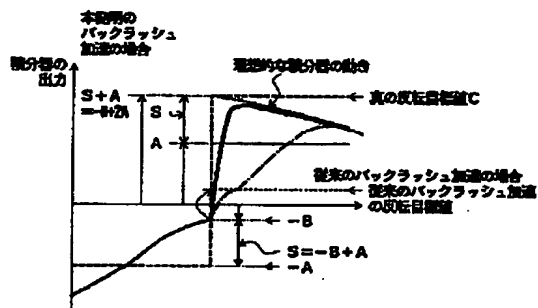
【図4】



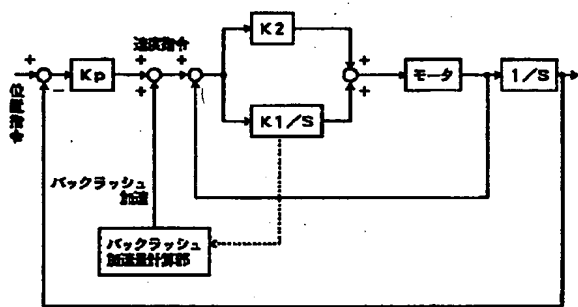
【図5】



【図6】

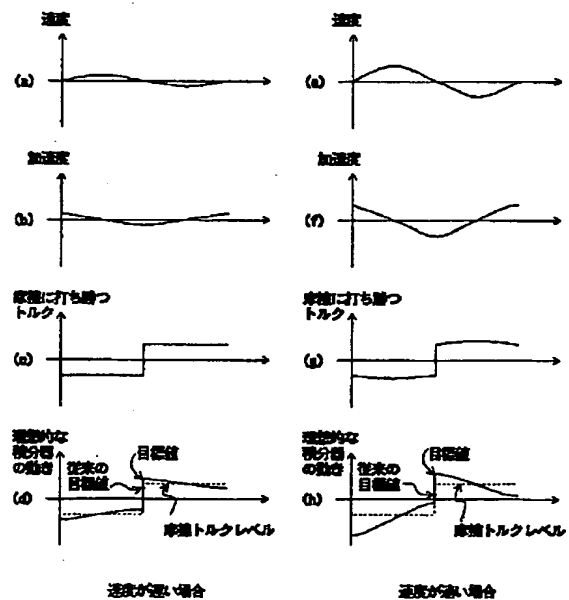


【図11】



Kp: ポジションゲイン

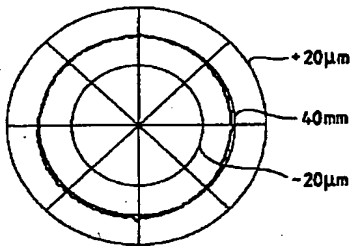
【図12】



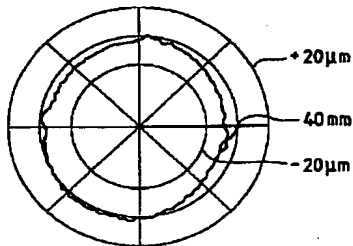
速度が速い場合

速度が遅い場合

【図9】



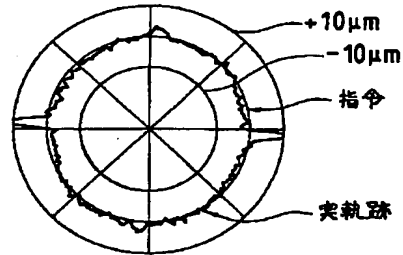
(切削速度 1000mm/分の場合)



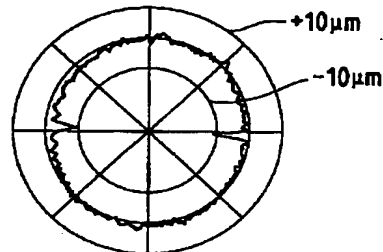
(切削速度 6000mm/分の場合)

【図10】

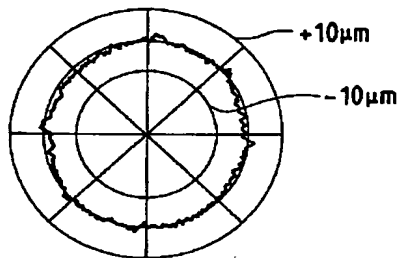
(イ)



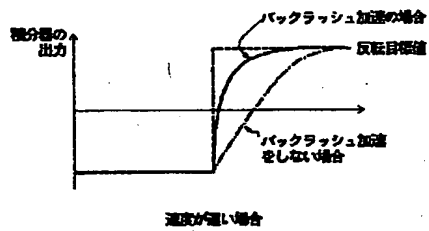
(ロ)



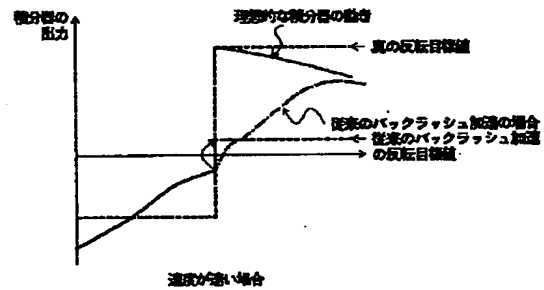
(ハ)



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁵

H 0 2 P 1/16

5/00

識別記号

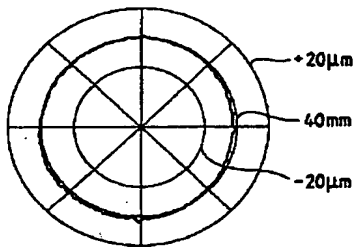
片内整理番号

F I

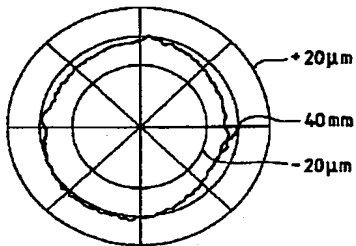
技術表示箇所

X 9063-5H

【図9】



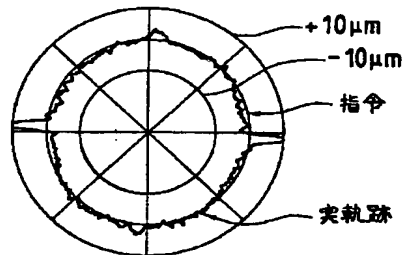
(切削速度 1000mm/分の場合)



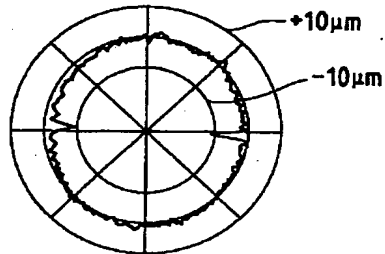
(切削速度 6000mm/分の場合)

【図10】

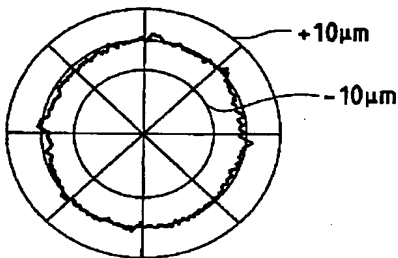
(イ)



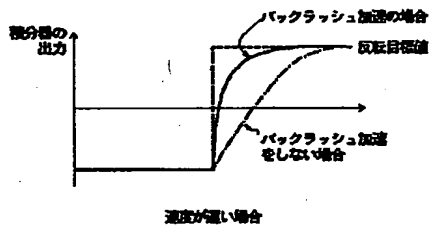
(ロ)



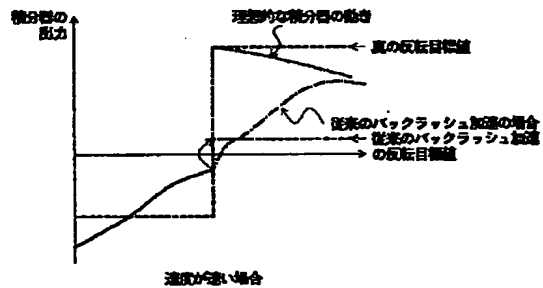
(ハ)



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁵

H 0 2 P 1/16

5/00

識別記号

片内整理番号

F I

技術表示箇所

X 9063-5H

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第6部門第3区分
 【発行日】平成13年9月7日(2001.9.7)

【公開番号】特開平7-110717
 【公開日】平成7年4月25日(1995.4.25)
 【年通号数】公開特許公報7-1108
 【出願番号】特願平5-342810
 【国際特許分類第7版】

G05D 3/12 306
 305

B23Q 15/24
 G05B 19/404
 H02P 1/16
 5/00

【FI】

G05D 3/12 306 G
 305 L

B23Q 15/24
 H02P 1/16
 5/00 X
 G05B 19/18 G

【手続補正書】

【提出日】平成12年11月15日(2000.11.15)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】発明の名称

【補正方法】変更

【補正内容】

【発明の名称】 モータの制御方法

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 サーボモータを用いた工作機械等の送り軸の方向反転時のモータ制御において、制御手段は、モータが外界から受ける外乱トルクを推定する外乱トルク推定手段を有し、該外乱トルク推定手段を用いて摩擦トルクを推定して、速度ループ積分器の値を摩擦トルク分と加速トルク分に分離し、該加速トルク分と該摩擦トルク分の符号を反転させたものによりモータ反転時の積分器目標値を求め、該積分器目標値に達するように速度命令にあるオフセット量を与えたものをバックラッシュ加速量としてバックラッシュ加速補正を行なうことを特徴とするモータの制御方法。

【請求項2】 積分器目標値は、現在の積分器の値に、

摩擦トルク分の符号を反転させ2倍したものを加算した値である請求項1記載のモータの制御方法。

【請求項3】 オフセット量は、積分器目標値から現在の積分器の値を減算した値に定数を乗算した値である請求項1記載のモータの制御方法。

【請求項4】 前記制御手段は、外乱トルク推定手段で摩擦トルクを推定するために用いるモータのトルク定数とイナーシャの比を適応的に求める手段を有し、該手段で求めたトルク定数とイナーシャの比により摩擦トルクを推定する請求項1、請求項2または請求項3の記載のモータの制御方法。

【請求項5】 トルク定数とイナーシャの比を適応的に求める手段は、当該サンプリング周期の1周期前と2周期前のトルク指令の変化量と、1周期前と2周期前のモータの実速度、及び1周期前に求めたモータのトルク定数とイナーシャの推定比率よりモータの推定速度を求め、次に、モータの実速度と前記推定速度との差の推定速度誤差を求め、推定比率の変化量が、前記トルク指令の変化量が小さいときには小さく、トルク指令の変化量が所定値になるまでは該トルク指令の変化量に略比例した値とし、前記所定値以上になると飽和させて一定値となるように前記推定速度誤差に基づいて前記所定比率を求め順次更新し、該推定比率が収束する値をもってトルク定数とイナーシャの比率とする請求項4記載のモータの制御方法。

【請求項6】 前記トルク指令の変化量を u 、前記推定

速度誤差を e 、前周期の推定比率を $b^*(i-1)$ 、設定パラメータ値を β とすると、当該周期におけるトルク定数とイナーシャの推定比率 $b^*(i)$ を次の式の演算によって求める請求項5記載のモータの制御方法。

$$b^*(i) = b^*(i-1) + \{\beta \cdot u \cdot e / (1 + \beta u^2)\}$$

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正内容】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、工作機械等のテーブル等の送り軸を駆動するサーボモータの制御方法に関し、特に、送り軸の移動方向が反転するときのバックラッシュ加速補正に関するものである。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正内容】

【0012】そこで、本発明は前記した従来のモータの制御方法の問題点を解決し、モータ反転直後の速度制御ループ積分器の目標値を正しく設定するモータの制御方法を提供することを目的とする。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正内容】

【0013】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するために、本出願の発明のモータの制御方法は、サーボモータを用いた工作機械等の送り軸の方向反転時のモータ制御において、制御手段は、モータが外界から受ける外乱トルクを推定する外乱トルク推定手段を有し、その外乱トルク推定手段を用いて摩擦トルクを推定して、速度ループ積分器の値を摩擦トルク分と加速トルク分に分離し、加速トルク分と、摩擦トルク分の符号を反転させたものによりモータ反転時の積分器目標値を求め、その積分器目標値に達するように速度指令にあるオフセット量を与えたものをバックラッシュ加速量として、バックラッシュ加速補正を行なうものである。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図4

【補正方法】変更

【補正内容】

【図4】本発明のモータの制御方法を実施するサーボモータ制御系の要部ブロック図である。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図5

【補正方法】変更

【補正内容】

【図5】本発明のモータの制御方法を実施する外乱トルク推定器の要部ブロック図である。